

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
22 janvier 2004 (22.01.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/007957 A2

(51) Classification internationale des brevets⁷ : F03H 1/00

(74) Mandataire : BRYKMAN, Georges; Brevatome, 3, rue
du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2003/002100

(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(22) Date de dépôt international : 7 juillet 2003 (07.07.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/08612 9 juillet 2002 (09.07.2002) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : CEN-
TRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES [FR/FR];
02, place Maurice Quentin, F-75039 Paris Cedex 1 (FR).

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE,
LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet
eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : CAGAN,
Vladimir [FR/FR]; 1, rue du Moulin, F-93170 Bagnolet
(FR). RENAUDIN, Patrice [FR/FR]; 3, rue de la Pilonerie,
"Les Jones", F-28410 Boutigny sur Opton (FR). GUYOT,
Marcel [FR/FR]; 15, rue du Mousseau, F-28230 Droue sur
Drouette (FR).

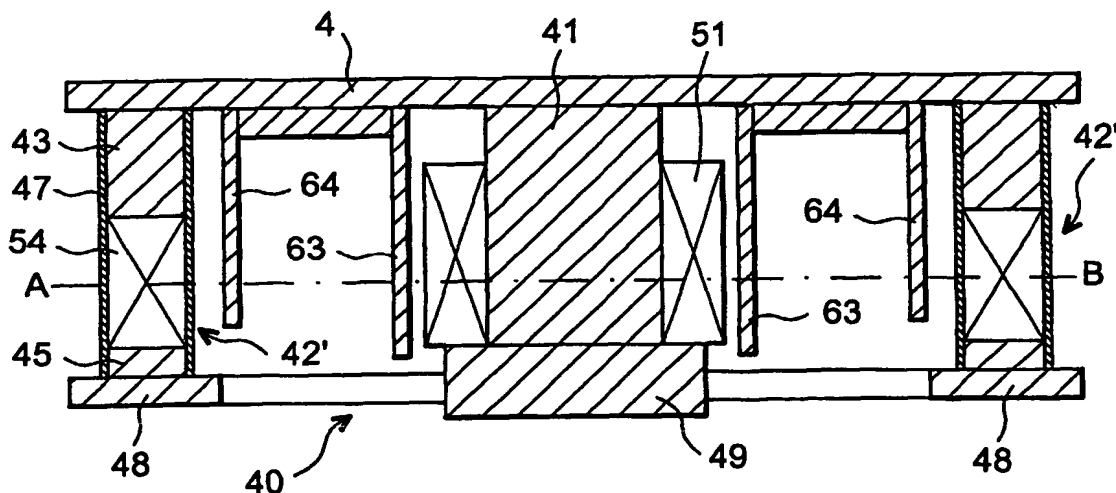
Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: HALL-EFFECT PLASMA THRUSTER

(54) Titre : PROPULSEUR PLASMIQUE A EFFET HALL



(57) Abstract: The invention concerns a plasma thruster having a magnetic circuit (40) consisting of a downstream base plate (4) wherefrom project arms (41, 42) characterized in that at least one of the arms (41', 42') comprises a permanent magnet (54, 55), thereby reducing the volume, space requirement, electric power consumption and costs of the thruster.

(57) Abrégé : Propulseur plasmique ayant un circuit magnétique (40) constitué par une plaque aval (4) de fond dont jaillissent des bras (41, 42) caractérisé en ce que l'un au moins des bras (41', 42') comporte un aimant permanent (54, 55). On réduit ainsi la masse, l'encombrement, la consommation électrique et le coût du propulseur.

WO 2004/007957 A2



En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

PROPULSEUR PLASMIQUE A EFFET HALL**DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE**

5 L'invention se situe dans le domaine des propulseurs plasmiques en particulier à effet Hall.

De tels moteurs peuvent par exemple être utilisés dans l'espace par exemple pour maintenir un satellite en orbite géostationnaire, ou pour opérer un
10 transfert d'un satellite entre deux orbites, ou pour compenser des forces de traînée sur des satellites en orbite basse, ou encore pour les missions nécessitant des poussée faibles sur des temps très longs comme lors d'une mission interplanétaire.

15 ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

De tels propulseurs sont connus et ont déjà fait l'objet de descriptions, par exemple dans le brevet US-A 6,281,622, ou encore dans le brevet US 5,359,258.

20 La structure détaillée de tels propulseurs est décrite dans ces deux documents. Il sera utilisé ci-après en liaison avec les figures 1 et 2 un schéma simplifié d'une telle structure. Ce schéma est destiné plus particulièrement à donner des explications sur le
25 fonctionnement d'un tel propulseur.

La figure 1 représente une coupe axiale d'un exemple d'un tel propulseur, et la figure 2 représente une vue en perspective vue de l'arrière dudit exemple de propulseur.

Le propulseur présente sensiblement une forme de révolution autour d'un axe OO' . Le plan de coupe de la figure 1 comporte cet axe OO' . Une direction arrière avant ou aval amont dans la direction axiale est matérialisée par des flèches E représentant sensiblement la direction d'un champ électrique créé par l'association d'une anode annulaire 1 placée à l'arrière d'un canal annulaire 3 et d'une cathode 2 placée sensiblement à l'avant du canal annulaire 3, à l'extérieur de celui-ci et de façon adjacente à celui-ci. La disposition de la cathode 2 permet ainsi de créer avec l'anode 1 un champ électrique orienté sensiblement selon la direction axiale OO' , tout en étant en dehors du jet de propulsion. Pour des raisons de fiabilité, cette cathode est en général, comme représenté figure 2, doublée par une seconde cathode redondante. L'anode annulaire 1 présente un fond annulaire placé concentriquement au canal annulaire 3. Ce fond comporte des passages, par exemple sous forme de trous traversants permettant le passage d'un gaz qui peut être ionisé, par exemple du xénon.

Le propulseur comporte un circuit magnétique 40 en matériaux ferro magnétique constitué par une plaque 4 perpendiculaire à l'axe OO' du propulseur, un bras central 41 ayant pour axe l'axe OO' , deux pôles cylindriques circulaires 63 et 64 ayant pour axe l'axe OO' et des bras périphériques extérieurs 42, disposés selon une symétrie de révolution autour de l'axe OO' , à l'extérieur du canal annulaire 3. Les bras périphériques 42, peuvent être au nombre de 2, 3, 4 ou d'avantage, ou encore être constitués par un bras annulaire unique. Le bras central 41 est terminé à son

extrémité amont par un pôle magnétique central 49, et
chacun des bras périphériques extérieurs 42, est
terminé à son extrémité amont par un pôle magnétique 48
Les pôles magnétiques 48 sont constitués par des
5 plaques sensiblement perpendiculaires à la direction
axiale OO'. Ils peuvent, comme décrit colonne 5 lignes
51-62 du brevet US 6,281,622 déjà cité, être inclinés
par exemple entre - 15 et +15 degrés par rapport à un
plan perpendiculaire à l'axe OO'. Une bobine centrale
10 51 centrée sur le bras central 41, et des bobines
périphériques 52 enroulées autour des bras magnétiques
extérieurs 42 permettent de créer des lignes de champ
magnétique joignant le pôle central 49 aux pôles
périphériques 48 et le pôle 63 au pôle 64. Le champ
15 magnétique dans le canal annulaire est ainsi
sensiblement perpendiculaire à l'axe OO'. Cette
direction du champ magnétique dans le canal annulaire 3
est matérialisée, figure 1, par des flèches M.
Naturellement, de façon connue, dans le canal annulaire
20 les lignes de champ magnétique ne sont pas toutes
parallèles entre elles. Le canal annulaire 3 est
matériellement délimité par des parois annulaires
interne et externe 61, 62 respectivement, centrées
toutes deux sur l'axe OO'. Ces parois sont constituées
25 par un matériau réfractaire aussi résistant que
possible à l'ablation.

Le modèle théorique de fonctionnement d'un tel
propulseur n'est pas encore parfaitement maîtrisé. Il
est cependant admis que le fonctionnement peut
30 sensiblement être expliqué comme suit. Des électrons
émis par la cathode 2, se dirigent vers l'anode 1 de
l'amont vers l'aval du canal annulaire 3. Une partie de

ces électrons est piégée dans le canal annulaire 3 par le champ magnétique inter polaire. Les chocs entre électrons et molécules gazeuses contribuent à ioniser le gaz introduit dans le canal 3 au travers de l'anode

5 1. Le mélange d'ions et d'électrons constitue alors un plasma ionisé auto entretenu. Les ions sont éjectés vers l'aval sous l'effet du champ électrique, créant ainsi une poussée du moteur dirigée vers l'amont. Le jet est électriquement neutralisée par des électrons

10 provenant de la cathode 2.

La vitesse d'éjection des ions est de l'ordre de 5 fois supérieure à la vitesse d'éjection que l'on peut obtenir avec des propulseurs chimiques. Il s'en suit qu'avec une masse éjectée bien moindre on peut

15 obtenir une efficacité de poussée améliorée.

L'alimentation des bobines de création du champ magnétique nécessite une alimentation électrique constituée en général à partir de panneaux solaires.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

20 Par rapport à l'état de la technique qui vient d'être décrit, l'invention vise un propulseur plasmique ayant pour une même poussée, une consommation réduite de courant électrique et donc une masse diminuée de générateurs électriques, une masse et un encombrement

25 diminués du circuit magnétique, une fiabilité accrue et enfin un coût de production réduit.

Selon l'invention les bobines de création de champ magnétique ont un nombre réduit de spires bobinées en fil spécial haute température. Ce nombre

30 réduit de spires bobinées entraîne les avantages ci-après. Les pertes par effet Joule sont réduites, ce qui

a pour conséquence une réduction de l'échauffement du propulseur, la fiabilité du propulseur est augmentée car le fil spécial haute température est fragile. La masse totale des éléments producteurs de champ magnétique est diminuée, du fait de la réduction du nombre de spires et de l'encombrement corrélatif du circuit magnétique. Le coût de production est diminué car le fil spécial haute température est onéreux, et parce que les bobines dont le rôle se limite alors à un simple ajustement de la valeur du champ magnétique sont simplifiées. Enfin le propulseur est allégé également par la réduction de la masse des alimentations électriques rendue possible par la diminution de la consommation du courant.

A toute ces fins l'invention est relative à un propulseur plasmique à effet Hall ayant un axe longitudinal sensiblement parallèle à une direction de propulsion définissant une partie amont et une partie avale, et comportant

- un canal annulaire principal d'ionisation et d'accélération réalisé en matériau réfractaire, le canal annulaire étant ouvert à son extrémité amont,

- une anode annulaire distributrice de gaz recevant du gaz de conduits de distribution et pourvue de passages pour laisser ce gaz entrer dans le canal annulaire, ladite anode annulaire étant placée à l'intérieur du canal dans une partie aval de ce canal,

- au moins une cathode creuse disposée en dehors du canal annulaire, de façon adjacente à celui ci,

- un circuit magnétique comportant des extrémités polaires amonts pour créer un champ

magnétique radial dans une partie amont du canal annulaire entre ces parties polaires, ce circuit étant constitué par une plaque aval, de laquelle jaillissent vers l'amont parallèlement à l'axe, un bras central, 5 situé au centre du canal annulaire, deux pôles cylindriques circulaires de part et d'autre du canal annulaire et des bras périphériques situés à l'extérieur du canal annulaire et adjacents à celui-ci, propulseur plasmique caractérisé en ce que l'un au 10 moins des bras du circuit magnétique comporte un aimant permanent.

Dans un mode de réalisation une partie des bras du circuit magnétique comporte un aimant permanent et une autre partie des bras du circuit magnétique ne 15 comporte pas d'aimants permanents.

Dans un autre mode de réalisation, tous les bras du circuit magnétique comportent un aimant permanent.

Lorsque le circuit magnétique comporte une 20 bobine inductrice celle ci est enroulée autour d'un bras ne comportant pas d'aimant permanent.

Aucune bobine inductrice n'est logée autour des bras du circuit magnétique (40) comportant un aimant permanent.

25 **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

Des modes de réalisation de l'invention seront maintenant décrits à titre d'exemple non limitatifs, en conjonction avec les dessins annexés.

- Les figures 1 et 2 déjà commentées 30 représentent respectivement une coupe axiale, et une vue en perspective vue de l'arrière d'un exemple de

réalisation d'un propulseur plasmique selon l'art antérieur.

- La figure 3A représente une coupe axiale d'un premier exemple de circuit magnétique d'un propulseur plasmique selon l'invention, coupe effectuée selon la ligne CD de la figure 3B.

- La figure 3B représente une coupe transversale du premier exemple de circuit magnétique d'un propulseur plasmique selon l'invention, coupe effectuée selon la ligne AB de la figure 3A.

- La figure 4A représente une coupe axiale d'un second exemple de circuit magnétique d'un propulseur plasmique selon l'invention, coupe effectuée selon la ligne CD de la figure 4B.

- La figure 4B représente une coupe transversale du second exemple de circuit magnétique d'un propulseur plasmique selon l'invention, coupe effectuée selon la ligne AB de la figure 4A.

- La figure 5A représente une coupe axiale d'un troisième exemple de circuit magnétique d'un propulseur plasmique selon l'invention, coupe effectuée selon la ligne CD de la figure 5B.

- La figure 5B représente une coupe transversale du troisième exemple de circuit magnétique d'un propulseur plasmique selon l'invention, coupe effectuée selon la ligne AB de la figure 5A.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Dans les modes de réalisation qui vont être décrits ci-après, seul le circuit magnétique d'un propulseur selon l'invention est décrit. Ces circuits

assurent les mêmes fonctions que les circuits magnétiques connus et sont disposés de façon similaire.

Ces circuits diffèrent de l'art antérieur par le fait que un ou plusieurs bras du circuit comportent des aimants permanents, par exemple en terres rares. Cette caractéristique permet de réduire le nombre de spires des bobines d'induction, éventuellement jusqu'à supprimer ces bobines ou une partie de ces bobines. La diminution de l'encombrement des bobines qui résulte de cette modification permet de réduire la dimension transversale du circuit magnétique puisque l'épaisseur des bobines à loger peut être réduite. Elle permet également de diminuer la dimension axiale qui est souvent déterminée en fonction du nombre de spires à loger autour du bras central. Il devient ainsi possible de limiter la longueur axiale du propulseur à la longueur minimale de la chambre d'ionisation.

Chacun des modes de réalisation de circuit magnétique 40 décrit en liaison avec les figures 3, 4 et 5 A et B comporte comme dans l'art antérieur décrit en liaison avec les figures 1 et 2, une plaque amont 4, en matériau magnétique doux, placée perpendiculairement à un axe OO' du circuit 40. Cette plaque est complétée par un bras central 41 de forme cylindrique ayant pour axe l'axe OO' , par des pôles cylindriques circulaires 63 et 64 ayant pour axe l'axe OO' , disposés de part et d'autre d'un canal annulaire 3 et par des bras périphériques 42, 42' disposés selon une symétrie de révolution autour de l'axe OO' à l'extérieur du canal annulaire 3. Sur les figures 3A et B et 4 A et B il y a quatre bras périphériques 42. Naturellement le nombre de bras peut être différent. Il pourra en particulier

être supérieur à 4, comme représenté figure 5 A et B où ce nombre est de 8, en raison de la diminution d'encombrement résultant de la suppression ou de la réduction de la taille des bobines d'induction.

5 Chacun des bras 41, 42 est terminé dans sa partie amont par un pôle magnétique référencé 49 pour le pôle du bras central 41 et 48 pour chacun des pôles des bras périphériques 42. Chaque pôles 49, 48 terminant un bras 41, 42 respectivement, est disposé
10 perpendiculairement à l'axe dudit bras. L'angle d'inclinaison des pôles peut être différent comme décrit en liaison avec la description de l'art antérieur.

L'accroissement du nombre de bras périphériques
15 distincts apporte une amélioration de la symétrie circulaire du champ magnétique; entre le pôle central 49 et les pôles périphériques 48.

Contrairement à l'art antérieur décrit, au moins l'un des bras comporte un aimant permanent
20 constituant une partie de la longueur axiale du bras. Les bras comportant un aimant permanent portent la référence 41' lorsqu'il s'agit du bras central et 42' lorsqu'il s'agit d'un bras périphérique. Dans les figures 3, 4, 5 A et B l'aimant permanent est référencé
25 54 lorsqu'il est incorporé à un bras périphérique 42' et 55 lorsqu'il est incorporé au bras central 41'.

Dans l'exemple représenté figures 3 A et B, tous les bras périphériques 42' sont ainsi constitués de l'aval vers l'amont d'une partie aval 43 en matériau
30 magnétique doux en contact avec la plaque aval 4, d'un aimant en terre rare 54, d'une partie amont 45 en matériau magnétique doux, cette partie amont 45 portant

le pôle magnétique 48. On voit qu'une partie centrale du bras adjacente à la partie aval 43 et à la partie amont 45 est constituée par ledit aimant permanent 54.

Dans l'exemple représenté figure 3 A et B le
5 bras central 41 est entièrement en matériau magnétique doux. Une bobine centrale 51 réalisée comme dans l'art antérieur par un fil spécial haute température, comportant une gaine métallique autour d'un conducteur central, permet un ajustement du champ magnétique inter
10 polaire. Dans cette configuration aucune bobine périphérique d'induction n'est disposée autour des bras périphériques 42'.

Ainsi dans ce premier exemple de réalisation, les bras périphériques 42' comportent chacun un aimant
15 permanent 54, et le bras central 41 est réalisé uniquement en matériau magnétique, une bobine inductrice 51 étant logée autour dudit bras central 41.

Dans l'exemple représenté figures 4 A et B, tous les bras périphériques 42 sont constitués
20 entièrement en matériau magnétique doux. Une bobine d'induction 52 est disposée autour de chacun des bras 42. Par contre le bras central 41' comporte une partie aval 44 en matériau magnétique doux, un aimant permanent en terre rare 55, et une partie amont 46 en
25 matériau magnétique doux, cette partie amont 46 portant le pôle magnétique 49.

Dans cette configuration aucune bobine centrale d'induction n'est disposée autour du bras central 41.

Dans ce second mode de réalisation, le bras
30 central 41' comporte un aimant permanent 55, les bras périphériques 42 sont réalisés uniquement en matériau

magnétique et une bobine inductrice 52 est logée autour de chacun desdits bras périphériques 42.

Chacun des bras 41' ou 42' comportant un aimant permanent 55, 54 respectivement, comporte une chemise
5 périphérique 47, extérieure au dit bras, en métal non magnétique. Cette chemise 47 permet de tenir mécaniquement assemblés, par exemple par serrage, les parties aval 43, 44, amont 45, 46 ainsi que l'aimant 54, 55 constituant ensemble un bras 42' 41'
10 respectivement. L'aimant 54, 55 est maintenu au contact des parties aval 43, 44 et amont 45, 46 respectivement.

Dans l'exemple représenté figures 5 A et B, il y a 8 bras périphériques 42' qui comportent comme dans le mode de réalisation décrit en liaison avec les
15 figures 3 A et B des aimants permanents 54. De même, le bras central 41' comporte une partie aval 44 en matériau magnétique doux, un aimant permanent en terre rare 55, et une partie amont 46 en matériau magnétique doux, cette partie amont 46 portant le pôle magnétique
20 49. Une chemise 47 assure la cohésion mécanique des parties constituant ensemble un bras 42' ou 41' et assure que les parties de noyau magnétique 43, 45 et l'aimant permanent 54 sont maintenus coaxiaux.

Dans cette configuration aucune bobine centrale
25 d'induction n'est disposée autour du bras central 41' ni autour des bras périphériques 42' comportant un aimant permanent 54.

Dans cette troisième configuration, le bras central 41' comporte un aimant permanent 55, et tous
30 les bras périphériques 42' comportent un aimant permanent 54.

Dans toutes les configurations de l'invention, la puissance des aimants est ajustée de façon à ce que le champ magnétique ait sa valeur optimale dans la gamme envisagée de température de fonctionnement du propulseur.

Dans le cas des configurations comportant des bobines 51 et/ou 52, la puissance des aimants est de plus ajustée de façon à ce que le nombre de spire soit minimal.

REVENDICATIONS

1. Propulseur plasmique à effet Hall ayant un axe longitudinal OO' sensiblement parallèle à une direction de propulsion définissant une partie amont et une partie avale, et comportant :
- 5 - un canal annulaire (3) principal d'ionisation et d'accélération réalisé en matériau réfractaire entouré par deux pôles magnétiques cylindriques circulaires (63, 64) le canal annulaire (3) étant ouvert à son extrémité amont,
 - 10 - une anode (1) annulaire distributrice de gaz recevant du gaz de conduits de distribution et pourvue de passages pour laisser ce gaz entrer dans le canal annulaire (3), ladite anode (1) annulaire étant placée à l'intérieur du canal (3) dans une partie aval de ce canal (3),
 - 15 - au moins une cathode (2) creuse disposée en dehors du canal annulaire (3), de façon adjacente à celui ci,
 - 20 - un circuit magnétique (40) comportant des extrémités polaires amont (49, 48) pour créer un champ magnétique radial dans une partie amont du canal annulaire (3) entre ces parties polaires (49, 48), ce circuit (40) étant constitué par une plaque aval (4), de laquelle jaillissent vers l'amont parallèlement à l'axe OO' , un bras central (41), situé au centre du canal annulaire (3), deux pôles cylindriques (63, 64) circulaires de part et d'autre du canal annulaire (3) et des bras périphériques (42) situés à l'extérieur du canal annulaire (3) et adjacents à celui-ci,
 - 25 - propulseur plasmique caractérisé en ce que l'un au
- 30

moins des bras (42', 41') du circuit magnétique (40) comporte un aimant permanent (54, 55).

2. Propulseur plasmique selon la revendication 1, caractérisé en ce que une partie des bras (41', 42') du circuit magnétique (40) comporte un aimant permanent (55, 54) et en ce que une autre partie des bras (41, 42) du circuit magnétique (40) ne comporte pas d'aimants permanents.

3. Propulseur plasmique selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que chaque bras (41', 42') du circuit magnétique (40) comportant un aimant permanent (55, 54) est constitué par une partie aval (43, 44) en contact avec la plaque aval (4), une partie amont (45, 46) portant un pôle magnétique (49, 48) et une partie centrale adjacente à la partie aval (43, 44) et à la partie amont (45, 46) constituée par ledit aimant permanent (55, 54).

4. Propulseur plasmique selon la revendication 3, caractérisé en ce que une chemise (47) est présente sur chaque bras (41', 42') du circuit magnétique (40) comportant un aimant permanent (55, 54).

5. Propulseur plasmique selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que une bobine inductrice (51, 52) est enroulée autour de bras (42, 41) ne comportant pas d'aimants permanents.

6. Propulseur plasmique selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que aucune bobine inductrice n'est logée autour des bras (41', 42') du circuit magnétique (40) comportant un aimant permanent (55, 54).

7. Propulseur plasmique selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les bras

périphériques (42, 42') sont disposés selon une symétrie de révolution autour de l'axe 00'.

8. Propulseur plasmique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les bras périphériques (42')
5 comportent chacun un aimant permanent (54), en ce que le bras central (41) est réalisé uniquement en matériau magnétique et en ce que une bobine inductrice (51) est logée autour dudit bras central (41).

9. Propulseur plasmique selon la revendication 10 1, caractérisé en ce que le bras central (41') comporte un aimant permanent (55), en ce que les bras périphériques (42) sont réalisés uniquement en matériau magnétique et en ce que une bobine inductrice (52) est logée autour de chacun desdits bras périphériques (42).

15 10. Propulseur plasmique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le bras central (41') comporte un aimant permanent (55), en ce que tous les bras périphériques (42') comportent un aimant permanent (54).

1 / 4

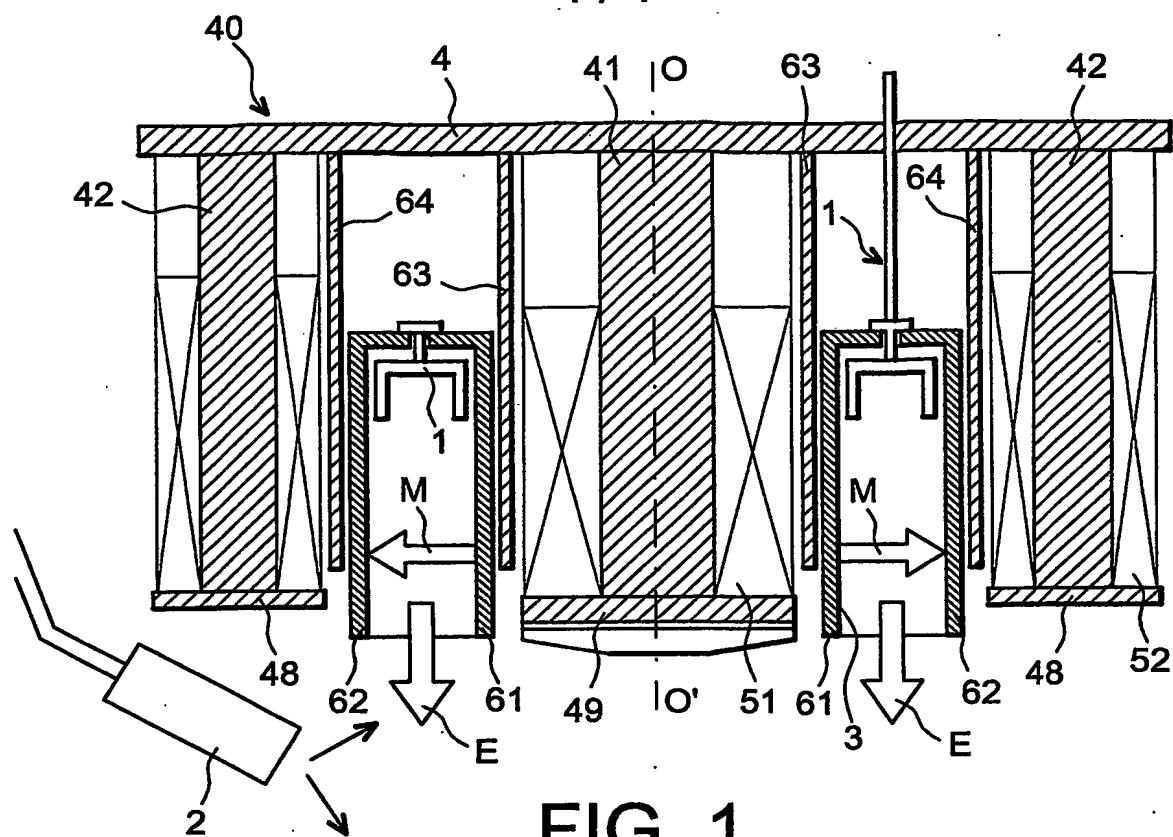


FIG. 1

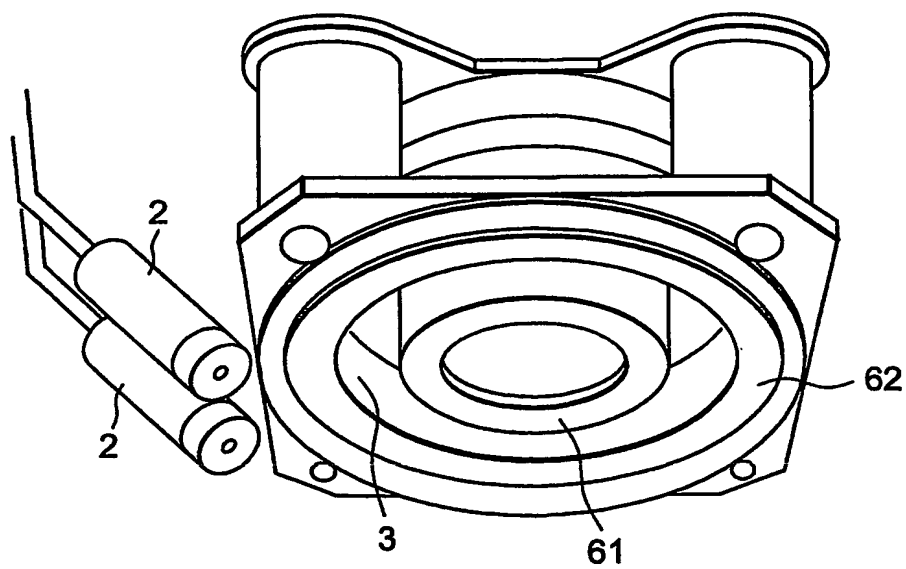
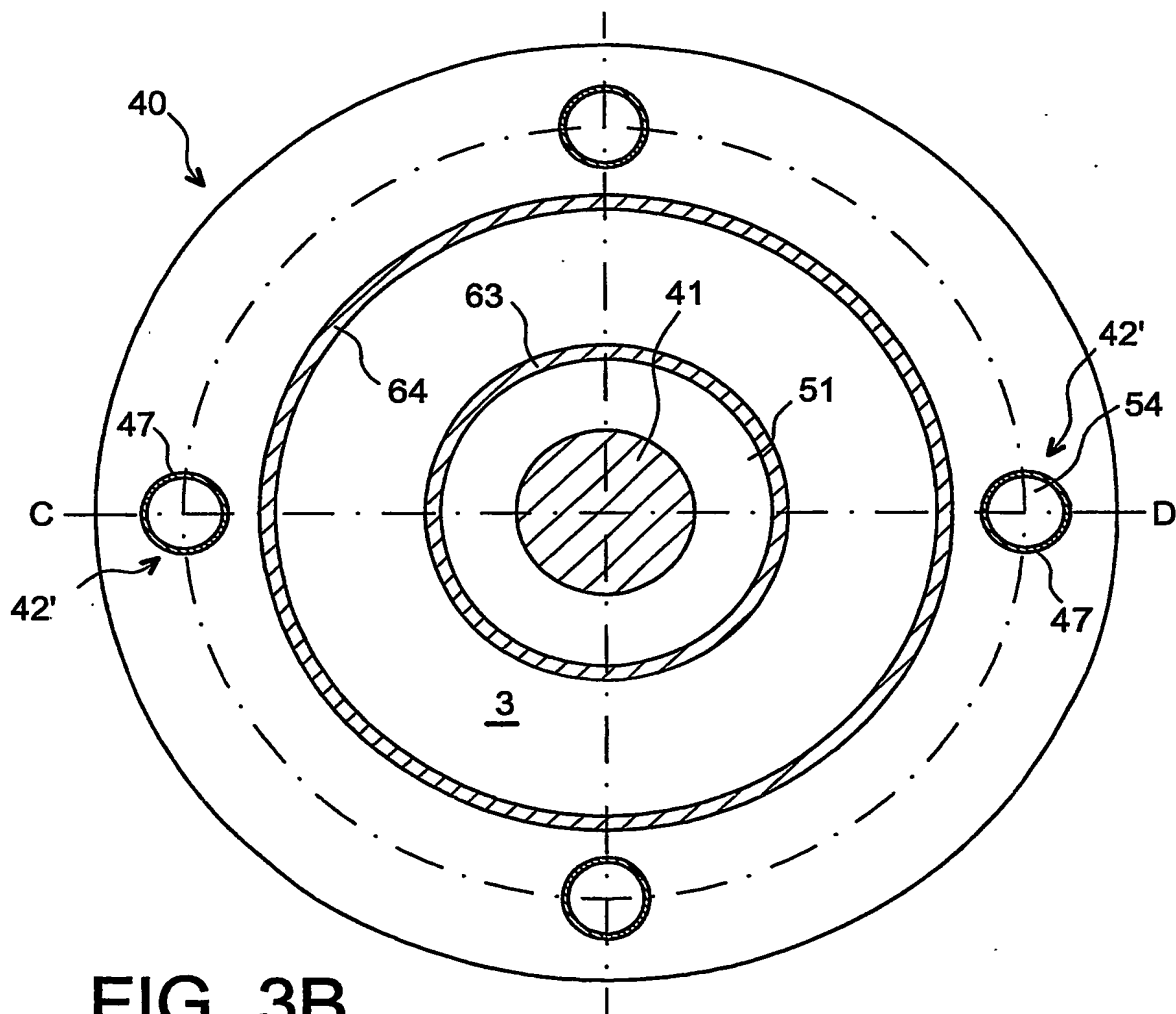
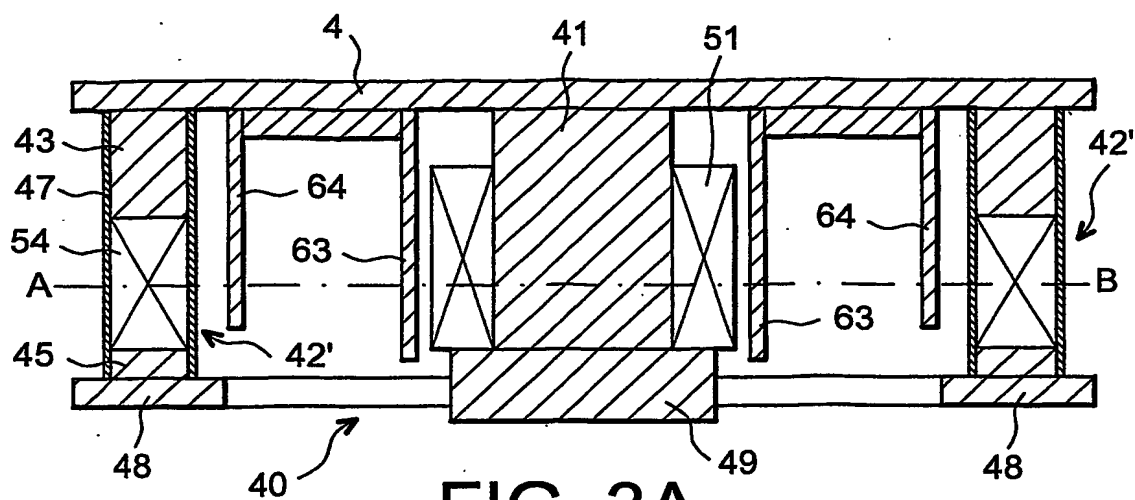
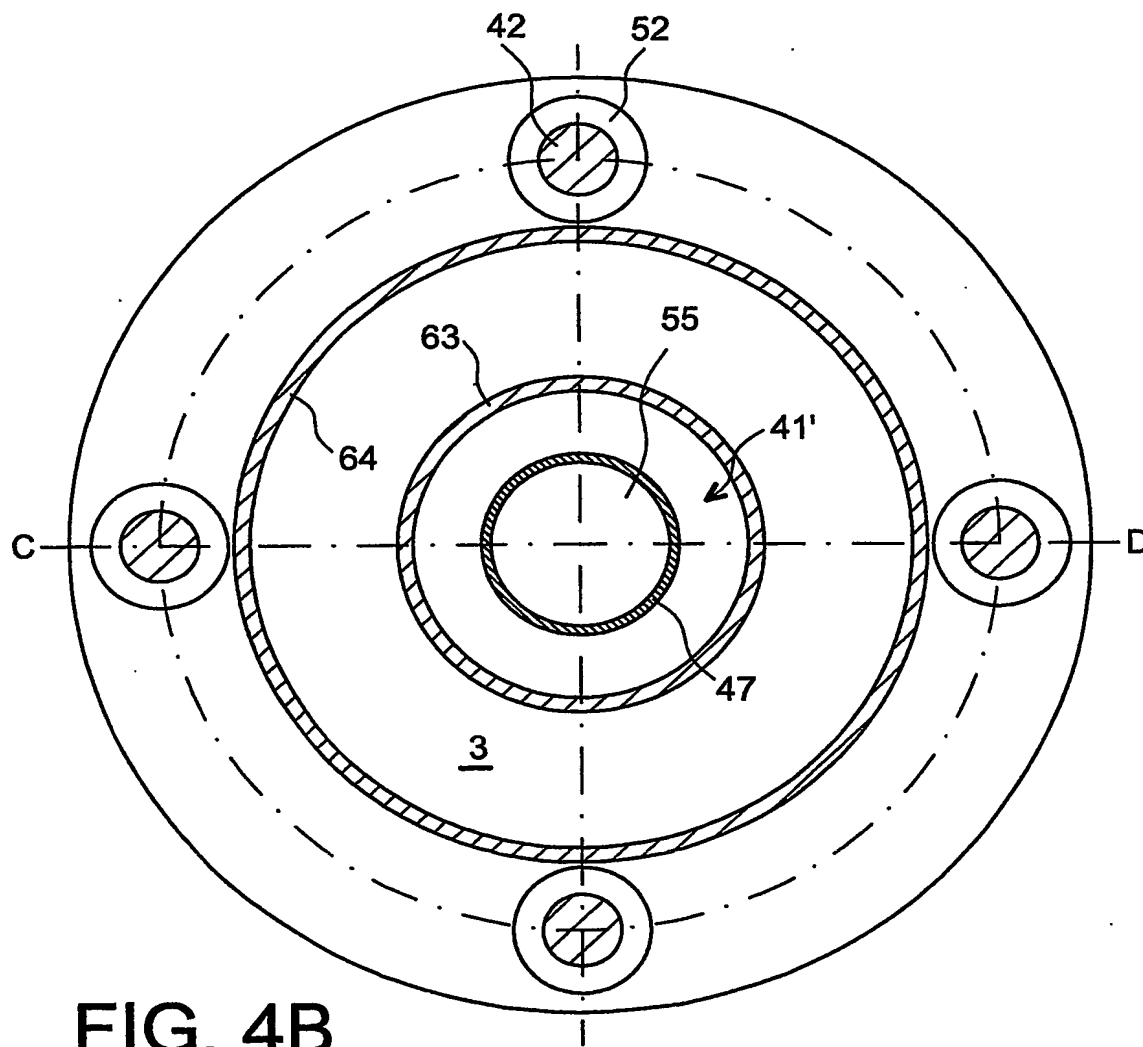
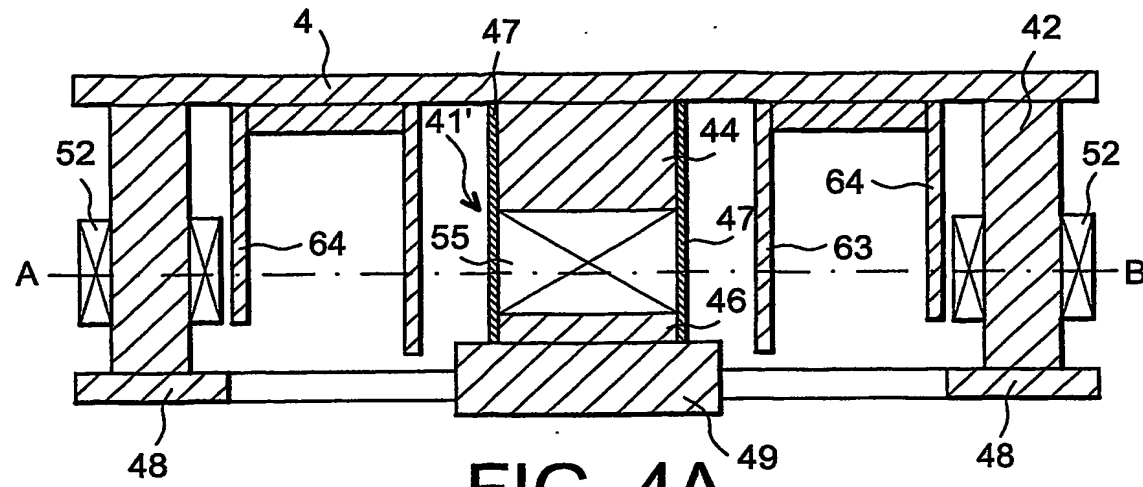


FIG. 2

2 / 4



3 / 4



4 / 4

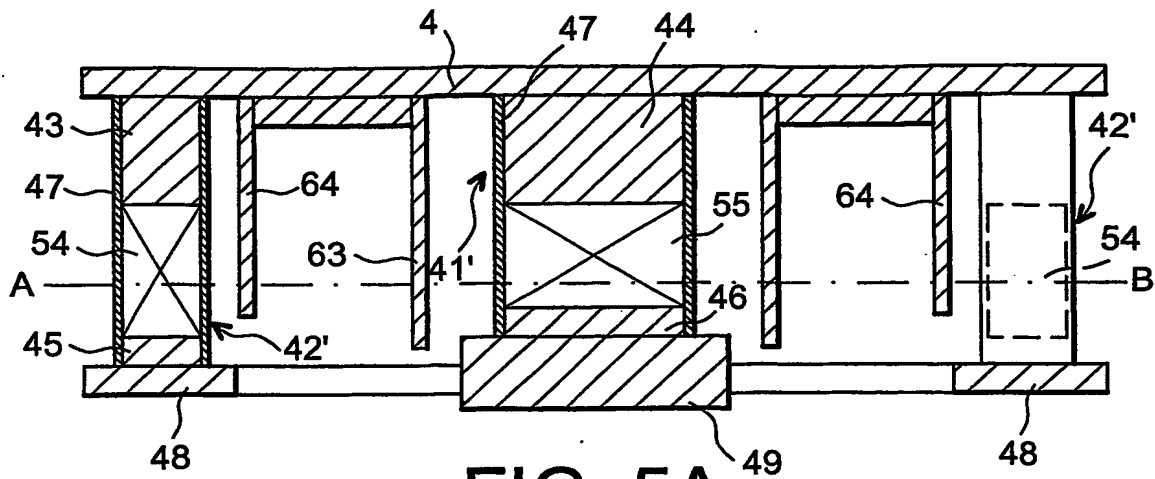


FIG. 5A

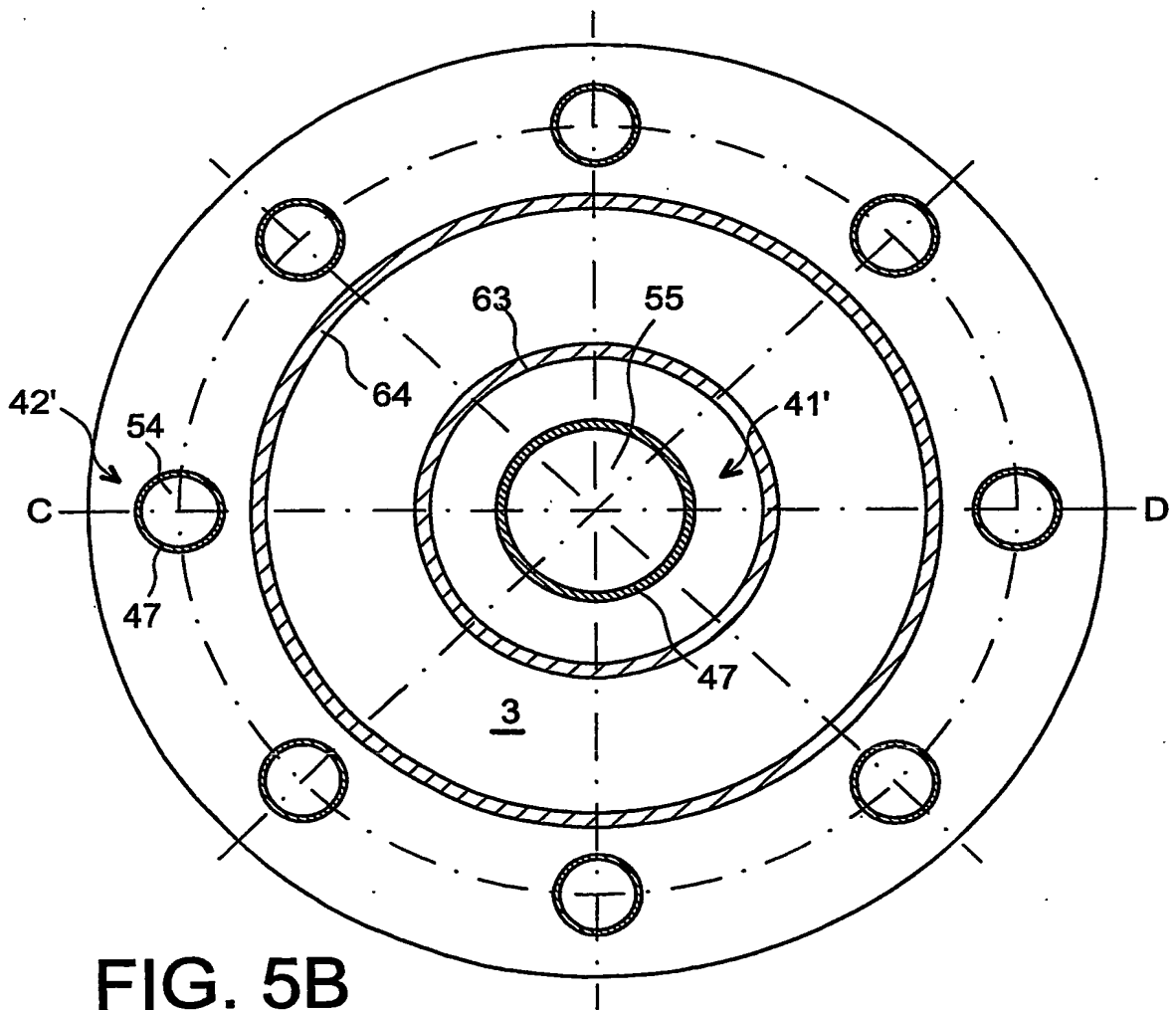


FIG. 5B